



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**PENGARUH CARA PEMOTONGAN INTI  
TRANSFORMATOR TERHADAP KURVA MAGNETISASI  
DAN *INRUSH CURRENT***

Arief Budi Ksatria  
NRP 2210100070

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc,  
Feby Agung Pamuji, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**FINAL PROJECT - TE 141599**

## **CUTTING EFFECT OF TRANSFORMER-CORE ON MAGNETIZATION CURVE AND INRUSH CURRENT**

Arief Budi Ksatria  
NRP 2210100070

Advisor  
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc,  
Feby Agung Pamuji, ST., MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

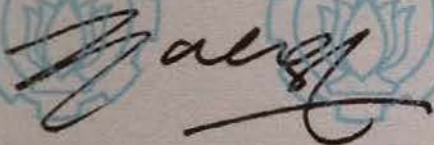
**PENGARUH CARA PEMOTONGAN INTI TRANSFORMATOR  
TERHADAP KURVA MAGNETISASI DAN INRUSH CURRENT**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

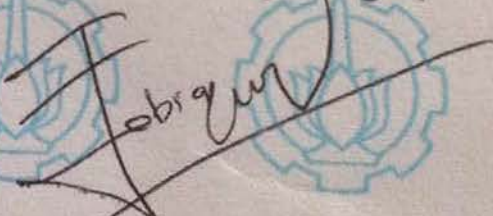
Menyetujui:

Dosen Pembimbing I,



Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.  
NIP. 197007121998021001

Dosen Pembimbing II,



Eeby Agung Pamuji, ST., MT.  
NIP. 198702062012121002



# **PENGARUH CARA PEMOTONGAN INTI TRANSFORMATOR TERHADAP KURVA MAGNETISASI DAN INRUSH CURRENT**

**Nama** : Arief Budi Ksatria  
**Pembimbing I** : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.  
**Pembimbing II** : Feby Agung Pamuji, ST., MT.

## **ABSTRAK**

Telah banyak dilakukan studi mengenai fenomena *inrush current*. *Inrush current* merupakan fenomena yang terjadi pada saat transformator pertama kali diberikan sumber tegangan. *Inrush current* dapat dianalisa menggunakan kurva magnetisasi pada inti transformator. Pada studi ini, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak untuk mengetahui pengaruh cara pemotongan inti transformator terhadap kurva magnetisasi. Sedangkan perhitungan matematis dilakukan untuk mendapatkan nilai puncak dari *inrush current*.

**Kata Kunci:** Cara pemotongan, *inrush current*, inti transformator, kurva magnetisasi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ***CUTTING EFFECT OF TRANSFORMER-CORE ON MAGNETIZATION CURVE AND INRUSH CURRENT***

***Name*** : Arief Budi Ksatria  
***Advisor I*** : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.  
***Advisor II*** : Feby Agung Pamuji, ST., MT.

## ***ABSTRACT***

*Inrush current phenomenon has been studied in many study. Inrush current is a phenomenon when voltage source applied in transformer for first time. Inrush current can be analyzed with magnetization curve in transformer-core. In this study, a software had been used to simulate how cutting effect of transformer-core against magnetization curve. While mathematics calculation has been did to get peak value of inrush current.*

***Keywords:*** *Cutting Effect, inrush current, magnetization curve, transformer-core.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Besar Muhammad SAW, keluarga, dan sahabat serta kita semua selaku umatnya. Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir **“Pengaruh Cara Pemotongan Inti Transformator Terhadap Kurva Magnetisasi dan *Inrush Current*”** ini tepat waktu.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan pendidikan sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak I Made Yulistya Negara dan Bapak Feby Agung Pamuji, atas segala pengetahuannya dan waktunya dalam membimbing penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Kedua Orang tua penulis yang selalu memberikan nasehat, semangat, dan doa kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan tepat pada waktunya.
3. Keluarga Besar yang selalu memberikan semangat dan hiburan kepada penulis selama mengerjakan Tugas Akhir.
4. Pak Daniar Fahmi, Mas Yonny, dan Shandy Baskoro yang mau membantu dan memberikan solusi dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.
5. Seluruh Dosen, dan Staff Karyawan Jurusan Teknik Elektro-FTI, ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
6. Afif, Reza, Raymond, Rosit, Adhika, Ario, Nico, Arvid, Kuntha, Faisal, Farchani, Nadir, Isa, Adri, Amin, Randi, Azmi, Mas Evan dan Mas Ganang sebagai teman yang selalu mendukung penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir.
7. Teman-teman Angkatan 2010 yang membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
8. Teman-teman Laboratorium Tegangan Tinggi yang mengingatkan dan mendukung penulis agar penulis bisa wisuda ke-111.
9. Keluarga Besar Departemen Lingkar Kampus yang selalu mengingatkan dan mendukung agar penulis bisa wisuda ke-111.



10. Teman-teman celoteh anak yang selalu memberikan semangat dan hiburan kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir.
11. Adik-adik angkatan 2011, 2012, dan 2013 yang menemani waktu luang saya ketika berada di kantin.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan juga bagi para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2015

**Penulis**

# DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
 BAB 1 PENDAHULUAN .....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Sistematika Penulisan.....	2
 BAB 2 TRANSFORMATOR .....	 3
2.1 Pengertian Transformator .....	3
2.2 Konstruksi Transformator.....	3
2.3 Transformator Ideal .....	4
2.4 Transformator Tidak Ideal .....	5
2.5 Transformator Tiga Fasa.....	5
 BAB 3 PERMODELAN TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN <i>FINITE-ELEMENT METHOD</i> .....	 7
3.1 Spesifikasi Transformator Tiga Fasa .....	7
3.1.1 Inti Transformator Dengan Cara Potong A.....	8
3.1.2 Inti Transformator Dengan Cara Potong B.....	9
3.2 Bentuk Transformator dalam <i>Finite-Element Method</i> .....	11
3.3 Medan Magnet Pada Transformator.....	12
3.4 <i>Inrush Current</i> Pada Transformator.....	13
 BAB 4 SIMULASI DAN ANALISA.....	 15
4.1 Distribusi Kerapatan Fluks Magnet dan Intensitas Medan Magnet.....	15
4.1.1 Distribusi Kerapatan Fluks Magnet .....	15
4.1.2 Distribusi Intensitas Medan Magnet.....	17

4.2 Perbandingan Kurva Magnetisasi Antar Bentuk Inti Transformator .....	18
4.3 Pengaruh Cara Pemotongan Inti Transformator Terhadap Nilai Puncak pada <i>Inrush Current</i> .....	35
BAB 5 PENUTUP .....	51
5.1 Kesimpulan .....	51
5.2 Penelitian Selanjutnya .....	51
DAFTAR PUSTAKA .....	53
RIWAYAT HIDUP .....	55

## **TABLE OF CONTENT**

<i>TITLE</i>	<i>Page</i>
<i>STATEMENT SHEET</i>	
<i>APPROVAL SHEET</i>	
<i>ABSTRAK</i> .....	<i>i</i>
<i>ABSTRACT</i> .....	<i>iii</i>
<i>FOREWORD</i> .....	<i>v</i>
<i>TABLE OF CONTENT</i> .....	<i>vii</i>
<i>LIST OF FIGURE</i> .....	<i>ix</i>
<i>LIST OF TABLE</i> .....	<i>xi</i>
 <i>BAB 1 PREFACE</i> .....	 <i>1</i>
<i>1.1 Background</i> .....	<i>1</i>
<i>1.2 Systematic of Report Writing</i> .....	<i>2</i>
 <i>BAB 2 TRANSFORMATOR</i> .....	 <i>3</i>
<i>2.1 Definition of Transformer</i> .....	<i>3</i>
<i>2.2 Construction of Transformer</i> .....	<i>3</i>
<i>2.3 Ideal Transformer</i> .....	<i>4</i>
<i>2.4 Unideal Transformer</i> .....	<i>5</i>
<i>2.5 Three Phase Transformer</i> .....	<i>5</i>
 <i>BAB 3 Modelling of Transformer Using FINITE-ELEMENT METHOD</i> .....	 <i>7</i>
<i>3.1 Spesification of Three Phase Transformer</i> .....	<i>7</i>
<i>3.1.1 Transformer-core with A-cutting</i> .....	<i>8</i>
<i>3.1.2 Transformer-core with B-cutting</i> .....	<i>9</i>
<i>3.2 Transformer shape at Finite-Element Method</i> .....	<i>11</i>
<i>3.3 Magnetic Fields of Transformer</i> .....	<i>12</i>
<i>3.4 Inrush Current of Transformer</i> .....	<i>13</i>
 <i>BAB 4 SIMULATION AND ANALYSIS</i> .....	 <i>15</i>
<i>4.1 Magnetic Fluxs Density And Magnetic Fields Intensity</i> .....	<i>15</i>
<i>4.1.1 Magnetic Fluxs Density</i> .....	<i>15</i>
<i>4.1.2 Magnetic Fields Intensity</i> .....	<i>17</i>

4.2 Comparison magnetization curve inter transformer-core .....	18
4.3 Cutting Effect of Transformer-core Against Inrush Current ..	35
<i>BAB 5 Closig</i> .....	51
5.1 Conclusion.....	51
5.2 Next Research.....	51
<i>BIBLIOGRAPHY</i> .....	53
<i>BIOGRAPHY AUTHOR</i> .....	55

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1</b>	Spesifikasi transformator ..... 7
<b>Tabel 3.2</b>	Ukuran inti transformator dengan cara potong A ..... 8
<b>Tabel 3.3</b>	Ukuran inti transformator dengan cara potong B ..... 10
<b>Tabel 4.1</b>	Perbandingan nilai kerapatan fluks magnet ..... 34
<b>Tabel 4.2</b>	Perbandingan nilai puncak pada <i>inrush current</i> ..... 50

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Transformator Tipe Core .....	3
<b>Gambar 2.2</b> Transformator Tipe Shell.....	4
<b>Gambar 2.3</b> Transformator Ideal Tanpa Beban .....	4
<b>Gambar 3.1</b> Bentuk Inti Transformator Dengan Cara Potong A .....	8
<b>Gambar 3.2</b> Komponen-Komponen Inti Transformator Dengan Cara Potong A .....	9
<b>Gambar 3.3</b> Bentuk Inti Transformator Dengan Cara Potong B .....	9
<b>Gambar 3.4</b> Tampak Depan Dari Inti Transformator Dengan Cara Potong A .....	10
<b>Gambar 3.5</b> Tampak Atas Dari Inti Transformator Dengan Cara Potong A.....	11
<b>Gambar 3.6</b> Tampak Samping Dari Inti Transformator Dengan Cara Potong A.....	11
<b>Gambar 3.7</b> <i>Mesh</i> yang disusun oleh <i>tetrahedron</i> .....	12
<b>Gambar 4.1</b> Distribusi Kerapatan Fluks Magnet Pada Fasa 0° .....	15
<b>Gambar 4.2</b> Distribusi Kerapatan Fluks Magnet Pada Fasa 60° .....	16
<b>Gambar 4.3</b> Distribusi Kerapatan Fluks Magnet Pada Fasa 120° .....	16
<b>Gambar 4.4</b> Letak titik yang diamati pada inti transformator.....	18
<b>Gambar 4.5</b> Kurva Magnetisasi pada titik A (-198; 162.5; 37.5) .....	19
<b>Gambar 4.6</b> Kurva Magnetisasi pada titik B (-253; 217.5; 37.5) .....	20
<b>Gambar 4.7</b> Kurva Magnetisasi pada titik C (-308; 272.5; 37.5) .....	21
<b>Gambar 4.8</b> Kurva Magnetisasi pada titik D (0; 162.5; 37.5) .....	21
<b>Gambar 4.9</b> Kurva Magnetisasi pada titik E (40; 162.5; 37.5).....	22
<b>Gambar4.10</b> Kurva Magnetisasi pada titik F (4.233; 141.3; 37.5) .....	23
<b>Gambar4.11</b> Kurva Magnetisasi pada titik G (55; -162.5; 37.5).....	23
<b>Gambar4.12</b> Kurva Magnetisasi pada titik H (-253; 162.5; 37.5) .....	24
<b>Gambar4.13</b> Kurva Magnetisasi pada titik I (-308; 162.5; 37.5).....	25
<b>Gambar4.14</b> Kurva Magnetisasi pada titik J (198; 162.5; 37.5).....	25
<b>Gambar4.15</b> Kurva Magnetisasi pada titik K (253; 217.5; 37.5).....	26
<b>Gambar4.16</b> Kurva Magnetisasi pada titik L (-253; -217.5; 37.5).....	27
<b>Gambar4.17</b> Kurva Magnetisasi pada titik M (253; -217.5; 37.5).....	27
<b>Gambar4.18</b> Kurva Magnetisasi pada titik N (0; 217.5; 37.5).....	28
<b>Gambar4.19</b> Kurva Magnetisasi pada titik O (0; -217.5; 37.5) .....	29
<b>Gambar4.20</b> Kurva Magnetisasi pada titik P (150; 200; 37.5) .....	30
<b>Gambar4.21</b> Kurva Magnetisasi pada titik Q (-150; 200; 37.5) .....	30



<b>Gambar4.22</b>	Kurva Magnetisasi pada titik R (150; -200; 37.5) .....	31
<b>Gambar4.23</b>	Kurva Magnetisasi pada titik S (-150; -200; 37.5) .....	32
<b>Gambar4.24</b>	Kurva Magnetisasi pada titik T (-55; 162.5; 37.5) .....	32
<b>Gambar4.25</b>	Perbandingan Kurva Magnetisasi antar titik pada inti transformator dengan cara potong A .....	33
<b>Gambar4.26</b>	Perbandingan Kurva Magnetisasi antar titik pada inti transformator dengan cara potong B .....	34

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Pada sistem tenaga listrik, transformator merupakan komponen yang sangat penting. Transformator merupakan peralatan yang dapat menaikkan dan menurunkan level tegangan. Secara sederhana, transformator terdiri dari kumparan primer, kumparan sekunder dan inti transformator.

Prinsip kerjanya dari transformator adalah tegangan arus bolak-balik pada belitan primer, menghasilkan arus listrik bolak-balik pada belitan primer. Arus tersebut menghasilkan fluks magnetik bolak-balik pada inti berbahan magnetik. Fluks magnetik bolak-balik menginduksi tegangan pada setiap belitan sekunder.

Ada beberapa jenis fenomena yang perlu diperhatikan pada transformator, salah satunya adalah *inrush current*. Fenomena *inrush current* di transformator telah diketahui sejak lama, dan telah didiskusikan di beberapa studi [1]-[6]. Fenomena magnetisasi *inrush current* di transformator pada saat *energization* menjadi masalah dalam desain dan performa dari proteksi rele differensial yang digunakan di transmisi sistem tenaga dan sistem distribusi. Kondisi tunak arus magnetisasi pada transformator mungkin hanya 1-2% dari arus rating, tapi itu bisa mencapai 10-20 kali arus rating ketika transformator dihubungkan dengan sumber tegangan [7]. Hal tersebut memerlukan koordinasi pengaman yang harus memperhatikan nilai *inrush current*. Fenomena *inrush current* dapat dianalisa dengan melihat kurva B-H pada inti besi transformator [8]. Kondisi tunak dan transien gelombang elektromagnetik pada operasi transformator 3 fasa sangat berbeda dari transformator 1 fasa dikarenakan interaksi fluks pada banyak ligan dan struktur inti yang tidak simetris [9]. Besarnya saturasi magnet juga dipengaruhi oleh jarak sela udara pada bagian-bagian inti transformator dan penyambungan antar lapisan inti transformator [14].

Masalah yang dibahas dalam studi ini adalah bagaimana pengaruh cara pemotongan inti transformator terhadap kurva magnetisasi dan *inrush current*. Untuk melihat hal tersebut, menggunakan bantuan perangkat lunak tersebut menggunakan metode *Finite-Element Method* atau *Finite-Element Analysis*. Masalah dalam studi ini dibatasi pada cara pemotongan inti transformator.

Sedangkan tujuan yang ingin dicapai dalam studi ini adalah untuk mengetahui pengaruh cara pemotongan inti transformator terhadap kurva magnetisasi dan *inrush current*.

Metode penelitian yang akan dilakukan dalam studi ini, yang pertama adalah studi literatur dan pengumpulan data mengenai cara pemotongan inti transformator. Langkah selanjutnya adalah menentukan parameter-parameter yang akan digunakan untuk simulasi dan evaluasi. Parameter-parameter simulasi dalam studi ini, antara lain: ukuran dari inti transformator, cara pemotongan inti transformator, tegangan yang diberikan pada belitan primer, arus belitan primer, dan jumlah lilitan. Setelah melakukan studi literatur dan menentukan parameter-parameter tersebut, langkah selanjutnya adalah melakukan pemodelan inti transformator dan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan kurva magnetisasi. Sedangkan untuk mendapatkan nilai puncak dari *inrush current* dengan menggunakan perhitungan matematis [12]. Langkah yang terakhir yaitu menentukan kesimpulan serta evaluasi dari hasil yang diperoleh.

## 1.2 Sistematika Penulisan

Pada bab satu dibahas tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metode, sistematika, dan relevansi dari penulisan.

Selanjutnya pada bab dua dibahas tentang teori transformator yang digunakan dalam pengerjaan studi ini.

Pada bab tiga dibahas tentang pemodelan transformator menggunakan *Finite-Element Method*, untuk mengetahui besarnya kurva magnetisasi dan *inrush current*.

Selanjutnya pada bab empat dibahas tentang simulasi dan analisa data dari pengaruh cara pemotongan inti transformator terhadap kurva magnetisasi dan *inrush current*. Penerapan dari metode *Finite-Element Method*.

Pada bab lima dibahas tentang kesimpulan dari studi yang dilakukan dan penelitian selanjutnya.

## Bab 2

### Transformator

#### 2.1 Pengertian Transformator

Transformator merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem kelistrikan, secara umum trafo digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan.

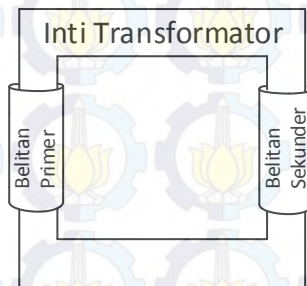
Transformator terdiri dari tiga bagian utama, yaitu kumparan primer, kumparan sekunder, dan inti besi transformator.

Prinsip kerja transformator adalah tegangan bolak-balik diberikan melalui kumparan primer. Kemudian akan mengalir arus bolak-balik pada masing-masing putaran kumparan. Arus bolak-balik tersebut akan menghasilkan fluks bolak-balik pada inti magnetik. Fluks tersebut mengalir pada inti transformator dan menginduksikan gaya gerak listrik (GGL) pada kumparan sekunder.

#### 2.2 Konstruksi Transformator

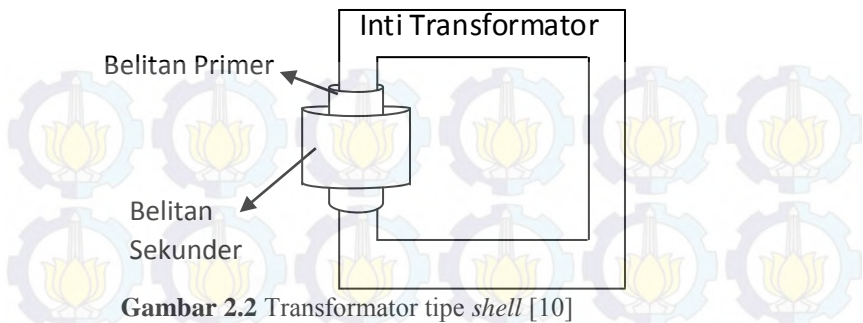
Pada dasarnya ada dua jenis transformator yang umum digunakan, yaitu tipe *core* dan tipe *shell*.

Pada transformator tipe *core*, kumparan primer dan kumparan sekunder berada pada sisi lengan transformator yang berbeda. Dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pada transformator tipe *shell*, kumparan primer dan kumparan sekunder berada pada sisi lengan transformator yang sama. Dapat dilihat pada Gambar 2.2.

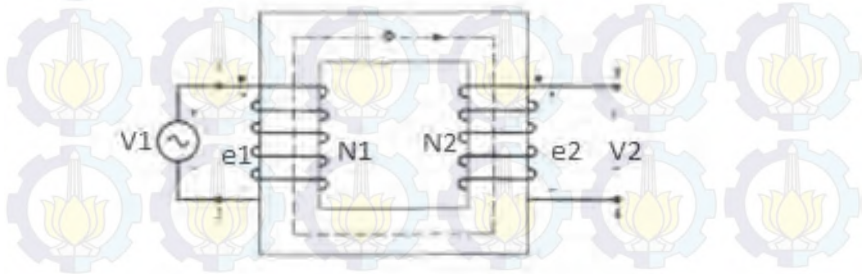


**Gambar 2.1** Transformator Tipe Core [10]





**Gambar 2.2** Transformator tipe *shell* [10]



**Gambar 2.3** Transformator ideal tanpa beban

### 2.3 Transformator Ideal

Sebuah transformator dapat dikatakan sebuah transformator ideal apabila pada transformator tersebut tidak ada rugi-rugi dan tidak ada fluks bocor.

Besarnya gaya gerak listrik pada kumparan primer dipengaruhi oleh banyaknya jumlah belitan dan fluks yang berubah terhadap waktu. Dapat ditulis sebagai berikut

$$e_1 = N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.1)$$

GGL yang terinduksi pada kumparan sekunder adalah

$$-e_2 = N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.2)$$

Apabila polaritas diabaikan, dan diasumsikan  $e_1$  dan  $e_2$  sama dengan tegangan terminal  $v_1$  dan  $v_2$ . Akan kita dapatkan

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.3)$$

Dari rumus di atas dapat kita simpulkan bahwa:

- a) Apabila  $N_1 > N_2$ , maka transformator tersebut menjadi *step-down transformer*.
- b) Apabila  $N_1 < N_2$ , maka transformator tersebut menjadi *step-up transformer*.

Arus eksitasi pada transformator adalah

$$I_\phi = I_1 - I_p = I_1 - \frac{I_2}{a} \quad (2.4)$$

## 2.4 Transformator Tidak Ideal

Walaupun kecil, setiap belitan pada transformator memiliki nilai hambatan. Hal tersebut menyebabkan transformator dapat menghasilkan fluks bocor. Fluks bocor merupakan fluks yang melalui udara di sekitar belitan. Fluks bocor yang dihasilkan oleh kumparan primer dan kumparan sekunder dapat menyebabkan adanya *mutual flux*. Fluks tersebut tidak mengalir di udara, melainkan mengalir pada inti transformator.

## 2.5 Transformator Tiga Fasa

Transformator tiga fasa dapat terdiri dari tiga buah transformator 1 fasa atau 1 buah transformator tiga fasa.

Transformator tiga fasa juga terdiri dari tipe *core* dan tipe *shell*.

Belitan pada transformator tiga fasa dapat dihubungkan dengan koneksi *wye* (Y) dan *delta* ( $\Delta$ ). Sehingga koneksi antara kumparan primer dan kumparan sekunder akan didapatkan empat kombinasi, yaitu: Koneksi Y- $\Delta$ ; Koneksi Y-Y; Koneksi  $\Delta$ -Y; Koneksi  $\Delta$ - $\Delta$ .

Pada transformator tiga fasa, antar belitannya memiliki beda fasa  $120^\circ$ . Sedangkan antara *wye* (Y) dan *delta* ( $\Delta$ ) memiliki beda fasa  $30^\circ$ .



## **BAB 3**

### **Permodelan Transformator Menggunakan *Finite-Element Method***

#### **3.1 Spesifikasi Transformator Tiga Fasa**

Simulasi transformator tiga fasa menggunakan perangkat lunak. Ada dua bentuk yang berbeda, yaitu inti transformator dengan cara potong A dan inti transformator dengan cara potong B. Kedua inti transformator tersebut terdiri dari dua komponen, yaitu *slitter 1* dan *slitter 2*. Inti transformator dengan cara potong A terdiri dari tiga komponen, yaitu yoke, leg dan center. Sedangkan inti transformator dengan cara potong B terdiri dari dua komponen, yaitu bentuk E dan bentuk I.

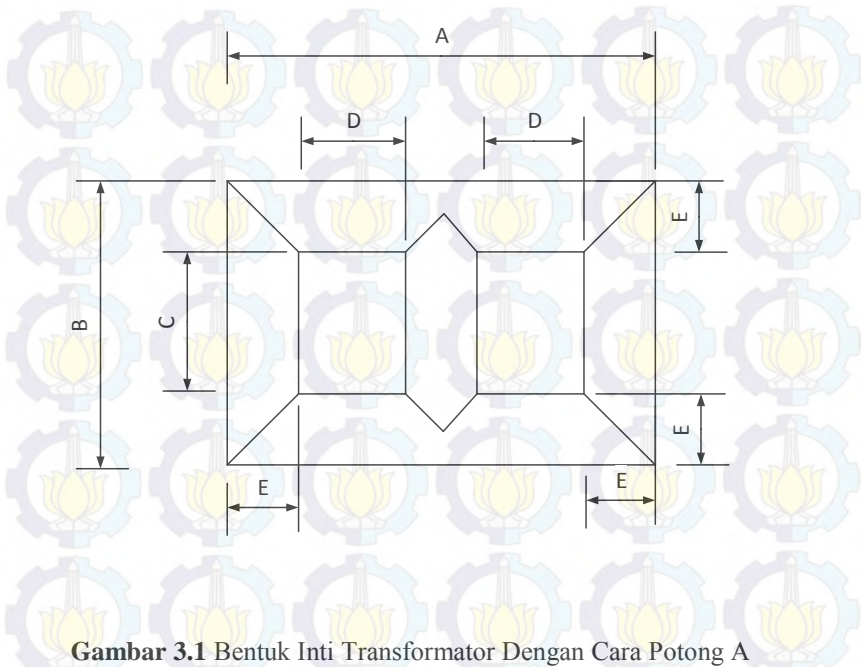
Kedua inti tersebut memiliki beberapa parameter yang sama, antara lain jumlah belitan, besarnya arus dan tegangan yang terukur pada masing-masing kumpulan.

**Tabel 3.1** Spesifikasi transformator

<b>Fasa</b>	3 Fasa
<b>Daya Pada Trafo</b>	100 KVA
<b>Tegangan Primer</b>	20.000 V
<b>Tegangan Sekunder</b>	400 V
<b>Hubungan Belitan</b>	$\Delta / Y$
<b>Jumlah Belitan Primer</b>	4763
<b>Jumlah Belitan Sekunder</b>	50
<b>Frekuensi</b>	50 Hz
<b>Dimensi slitter 1</b>	(616 x 545) cm <sup>2</sup>
<b>Dimensi slitter 2</b>	(586 x 485) cm <sup>2</sup>



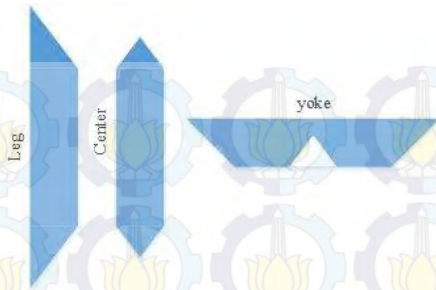
### 3.1.1 Inti Transformer Dengan Cara Potong A



**Gambar 3.1** Bentuk Inti Transformer Dengan Cara Potong A

**Tabel 3.2** Ukuran Inti Transformer Dengan Cara Potong A

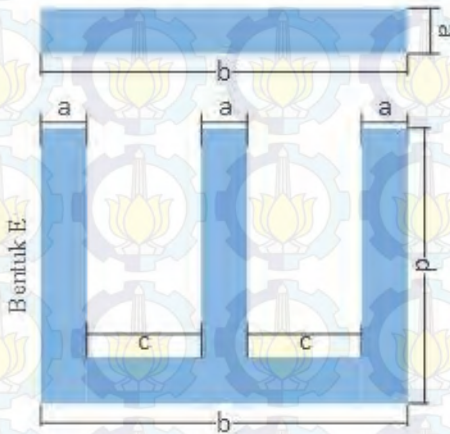
	Slitter 1	Slitter 2
A	616 cm	586 cm
B	545 cm	485 cm
C	325 cm	325 cm
D	143 cm	173 cm
E	110 cm	80 cm



**Gambar 3.2** Komponen-Komponen Inti Transformator Dengan Cara Potong A

### 3.1.2 Inti Transformator Dengan Cara Potong B

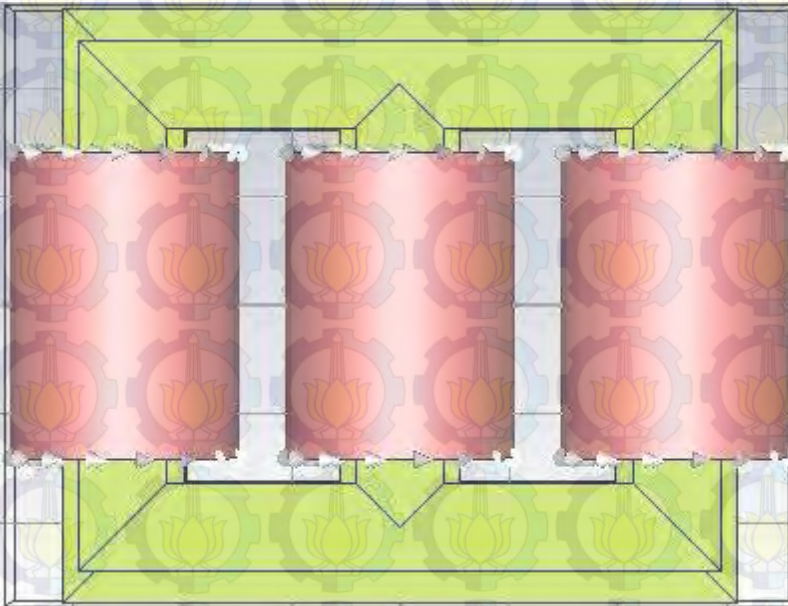
Bentuk I



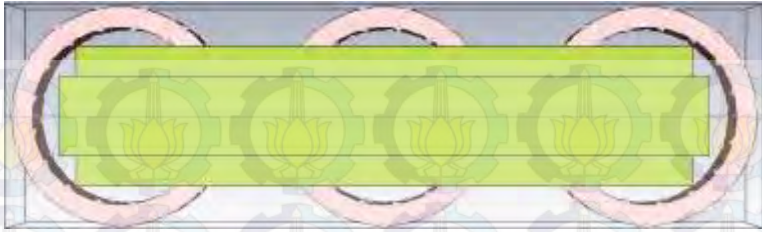
**Gambar 3.3** Bentuk Inti Transformator Dengan Cara Potong B

**Tabel 3.3** Ukuran Inti Transformator Dengan Cara Potong B

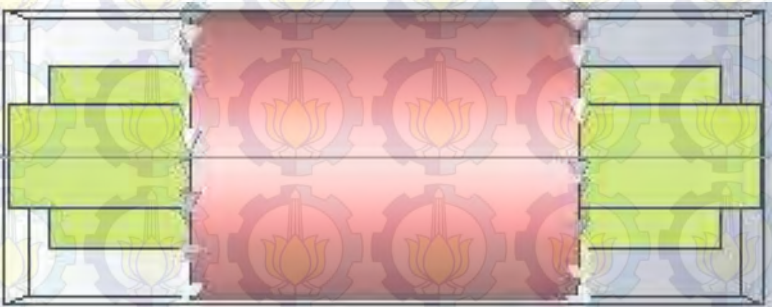
	Slitter 1		Slitter 2	
	Bentuk E	Bentuk I	Bentuk E	Bentuk I
A	110 cm	110 cm	80 cm	80 cm
B	616 cm	616 cm	586 cm	586 cm
C	143 cm	-	173 cm	-
D	435 cm	-	405 cm	-



**Gambar 3.4** Tampak Depan Dari Inti Transformator Dengan Cara Potong A



**Gambar 3.5** Tampak Atas Dari Inti Transformator Dengan Cara Potong A

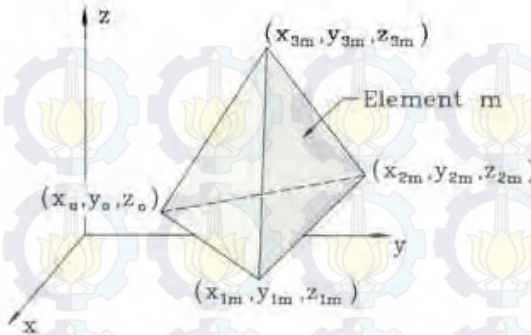


**Gambar 3.6** Tampak Samping Dari Inti Transformator Dengan Cara Potong A

### **3.2 Bentuk Transformator dalam *Finite-Element Method* (FEM)**

*Finite-Element Method* merupakan sebuah metode penyelesaian bilangan kontinyu pada komputer. Hal tersebut disebabkan komputer tidak dapat menyelesaikan persamaan pada bilangan kontinyu secara langsung. Sehingga suatu *volume* dibagi ke dalam bentuk *volume element / mesh* dalam jumlah yang banyak. Untuk mendapatkan sebuah kesatuan persamaan linear dalam jumlah besar yang dapat ditangani oleh komputer. Karena *volume* memiliki ukuran yang terbatas, maka disebut *finite element method*. Ada beberapa macam bentuk *mesh* yang sering digunakan. Salah satunya adalah *tetrahedron*. *Tetrahedron mesh* merupakan sebuah bentuk tiga dimensi yang terdiri dari empat buah *vertex*. Masing-masing *volume* menghasilkan bentuk *tetrahedron* yang berbeda.





**Gambar 3.7** Mesh yang disusun oleh *tetrahedron* [13].

### 3.3 Medan Magnet Pada Transformator

Fluks magnet dapat dianalogikan dengan arus pada rangkaian tertutup. Karena fluks magnet membentuk jalur yang terhubung. Arus dapat melalui rangkaian konduksinya tanpa mengalami kebocoran. Sedangkan fluks magnet tidak sepenuhnya dapat mengikuti jalur yang diberikan oleh bahan magnet. Apabila *permeability* dari bahan magnetik tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan bahan disekitarnya, maka sebagian besar fluks magnet akan mengikuti bahan magnet tersebut.

Jika kumparan mempunyai  $N$  putaran dan dilalui arus  $I$ , *magnetomotive force* (mmf) adalah  $NI$ . Maka,

$$mmf = NI = \oint_c \mathbf{H} \cdot d\mathbf{L} \quad (3.1)$$

Jika intensitas medan magnet seragam dengan bahan magnet, maka:

$$\mathbf{H} = \frac{NI}{l} \quad (3.2)$$

Dimana  $l$  adalah panjang jalur magnet.

Kerapatan medan magnet pada bahan magnet adalah

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (3.3)$$

Dimana  $\mu$  merupakan permeabilitas bahan magnet.

Fluks pada bahan magnet adalah

$$\Phi = \int_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (3.4)$$

### 3.4 *Inrush Current* Pada Transformator

*Inrush Current* merupakan proses energize pada transformator saat pertama kali digunakan. Sehingga *inrush current* dapat dianalisa dengan menggunakan kurva magnetisasi pada saat keadaan tanpa beban. Untuk mendesain sistem proteksi, besarnya nilai maksimal *inrush current* merupakan sebuah faktor penting. Maka nilai puncak dari *inrush current* dapat dilihat sesuai persamaan [12], yaitu:

$$i_{peak} = \frac{\sqrt{2} V_m}{\sqrt{(\omega \cdot L)^2 + R^2}} \left( \frac{2 \cdot B_N + B_R - B_S}{B_N} \right) \quad (3.5)$$

Dimana:

- $V_m$  = Tegangan maksimum yang terpasang
- $L$  = Induktansi pada transformator
- $R$  = Resistansi pada transformator
- $B_N$  = Kerapatan fluks pada saat melaju normal
- $B_R$  = Kerapatan fluks sisa
- $B_S$  = Kerapatan fluks pada saat saturasi



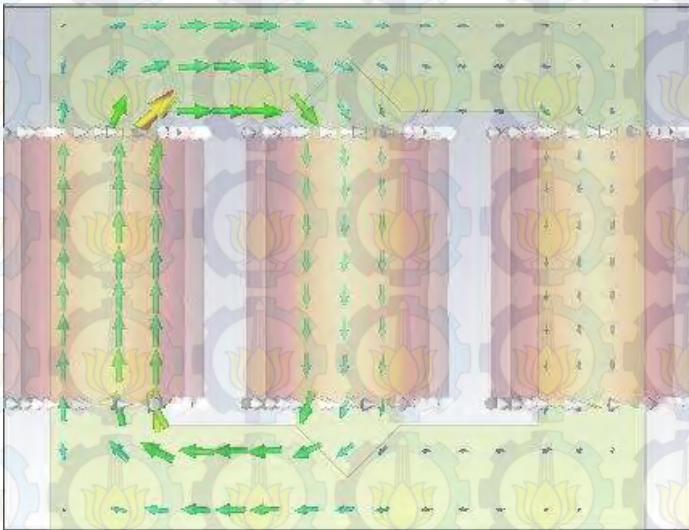
## Bab 4

### Simulasi dan Analisa

#### 4.1 Distribusi Kerapatan Fluks Magnet dan Intensitas Medan Magnet

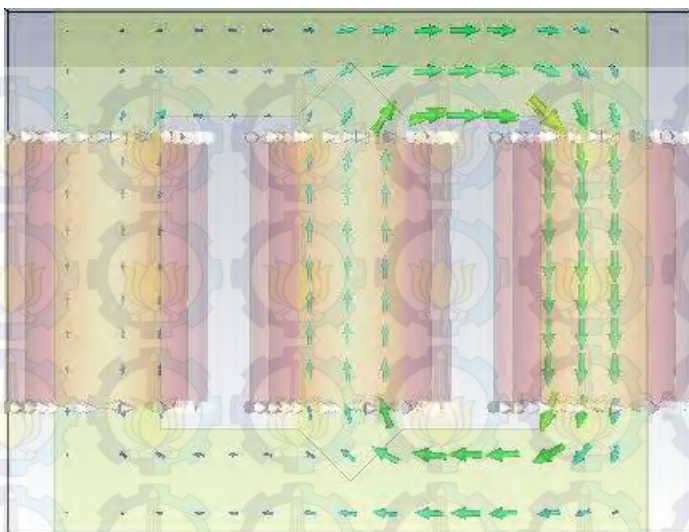
Simulasi menggunakan jenis material St-37. Material St-37 memiliki nilai  $\rho$  sebesar  $7850 \text{ kg/m}^3$ . Simulasi dilakukan untuk mendapatkan kurva magnetisasi. Nilai  $B$  pada kurva magnetisasi digunakan untuk mengetahui besarnya *magnetomotive force* yang melalui inti transformator. Sehingga semakin besar nilai  $B$ , maka semakin besar pula *magnetomotive force* yang melalui inti transformator tersebut.

##### 4.1.1 Distribusi Kerapatan Fluks Magnet (B)

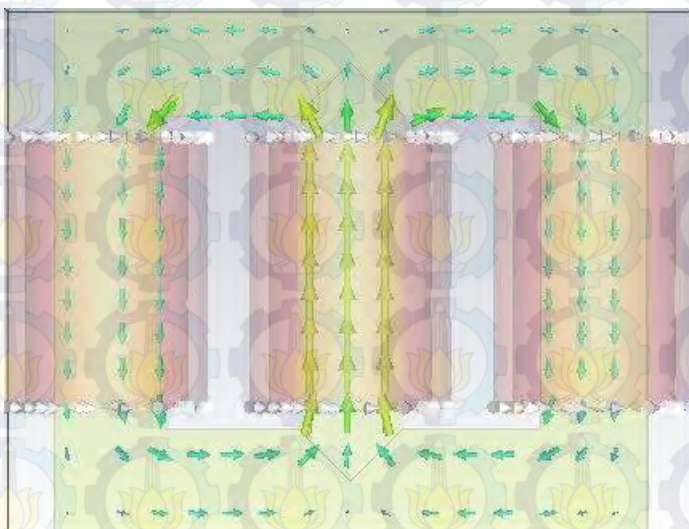


Gambar 4.1 Distribusi Kerapatan Fluks Magnet Pada Fasa  $0^\circ$ .





**Gambar 4.2** Distribusi Kerapatan Fluks Magnet Pada Fasa 60°.



**Gambar 4.3** Distribusi Kerapatan Fluks Magnet Pada Fasa 120°.

Jika dilihat pada Gambar 4.1, distribusi kerapatan fluks magnet dengan nilai terbesar, terlihat mengalir dari bagian leg kiri menuju ke bagian yoke atas. Kemudian menuju ke center.

Jika dilihat pada Gambar 4.2, distribusi kerapatan fluks magnet dengan nilai terbesar, terlihat mengalir dari bagian leg kanan menuju ke bagian yoke bawah. Kemudian mengalir menuju ke center.

Jika dilihat pada Gambar 4.3, distribusi kerapatan fluks magnet dengan nilai terbesar, terlihat mengalir dari bagian center menuju ke bagian yoke atas. Kemudian mengalir menuju ke bagian leg kanan.

Pada Fasa  $180^\circ$ , distribusi kerapatan fluks magnet dengan nilai terbesar mengalir dari bagian leg kiri menuju ke bagian yoke bawah. Kemudian mengalir menuju ke bagian center.

Pada Fasa  $240^\circ$ , distribusi kerapatan fluks magnet dengan nilai terbesar mengalir dari bagian leg kanan menuju ke bagian yoke atas. Kemudian mengalir menuju ke bagian yoke atas.

Pada Fasa  $300^\circ$ , distribusi kerapatan fluks magnet dengan nilai terbesar mengalir dari bagian center menuju ke bagian yoke bawah. Kemudian mengalir menuju ke bagian leg kanan.

#### **4.1.2 Distribusi Intensitas Medan Magnet (H)**

Distribusi Intensitas Medan Magnet Pada Fasa  $0^\circ$ . Distribusi intensitas medan magnet dengan nilai terbesar, mengalir dari bagian leg kiri menuju ke bagian yoke bagian atas. Kemudian mengalir menuju ke bagian center.

Distribusi Intensitas Medan Magnet Pada Fasa  $60^\circ$ . Distribusi intensitas medan magnet dengan nilai terbesar, mengalir dari bagian leg kanan menuju ke bagian yoke bawah. Kemudian mengalir menuju ke bagian center.

Distribusi Intensitas Medan Magnet Pada Fasa  $120^\circ$ . Distribusi intensitas medan magnet dengan nilai terbesar, mengalir dari bagian center menuju ke bagian yoke atas. Kemudian mengalir ke bagian leg kiri dan leg kanan.

Distribusi Intensitas Medan Magnet Pada Fasa  $180^\circ$ . Distribusi intensitas medan magnet dengan nilai terbesar, mengalir dari bagian leg kiri menuju ke bagian yoke bawah. Kemudian mengalir menuju ke bagian center.

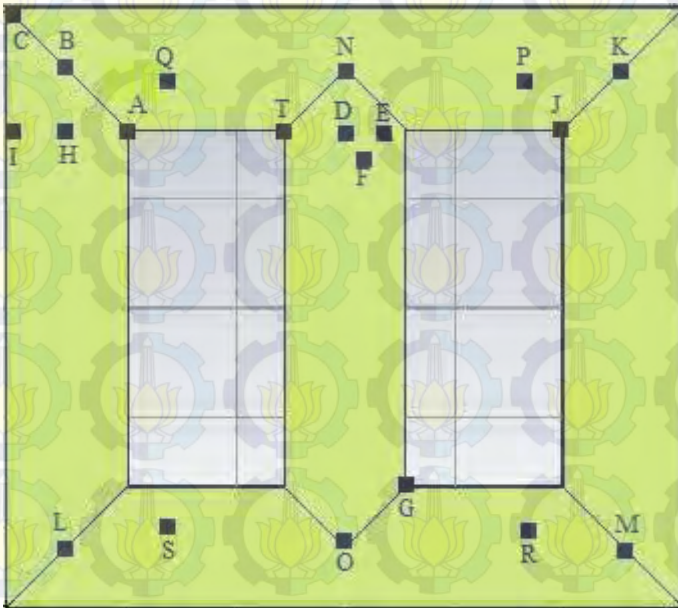
Distribusi Intensitas Medan Magnet Pada Fasa  $240^\circ$ . Distribusi intensitas medan magnet dengan nilai terbesar, mengalir dari bagian leg

kanan menuju ke bagian yoke atas. Kemudian mengalir menuju ke bagian center.

Distribusi Intensitas Medan Magnet Pada Fasa 300°. Distribusi intensitas medan magnet dengan nilai terbesar, mengalir dari bagian center menuju ke bagian yoke bawah. Kemudian mengalir menuju ke bagian leg kiri dan bagian leg kanan.

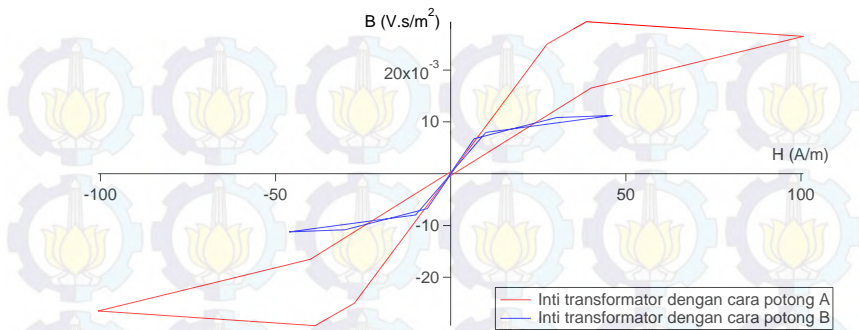
## 4.2 Perbandingan Kurva Magnetisasi Antar Bentuk Inti Transformator

Ada beberapa titik yang diamati, antara lain A (-198; 162.5; 37.5), B (-253; 217.5; 37.5), C (-308; 272.5; 37.5), D (0.0; 162.5; 37.5), E (40; 162.5; 37.5), F (4.233; 141.3; 37.5), G (55; -162.5; 37.5), H (-253; 162.5; 37.5), I (-308; 162.5; 37.5), J (198; 162.5; 37.5), K (253; 217.5; 37.5), L (-253; -217.5; 37.5), M (253; -217.5; 37.5), N (0; 217.5; 37.5), O (0; -217.5; 37.5), P (150; 200; 37.5), Q (-150; 200; 37.5), R (150; -200; 37.5), S (-150; -200; 37.5) dan T (-55; 162.5; 37.5).



**Gambar 4.4** Letak titik yang diamati pada inti transformator.





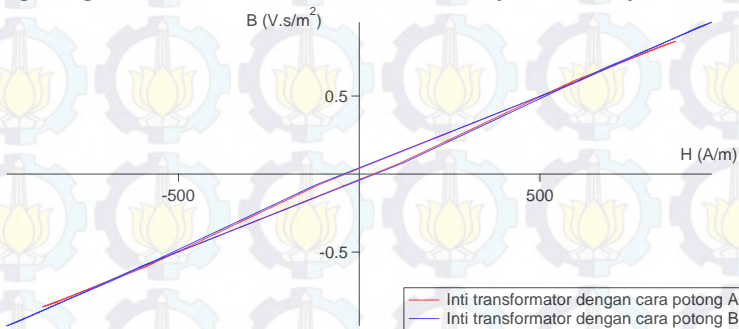
**Gambar 4.5** Kurva Magnetisasi pada titik A (-198; 162.5; 37.5).

Kurva magnetisasi pada titik A (-198; 162.5; 37.5) ditunjukkan pada gambar 4.5. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{min} = -0.029$  (V.s/m²);  $B_{max} = 0.029$  (V.s/m²);  $H_{min} = -100.68$  A/m;  $H_{max} = 100.68$  A/m. Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{min} = -0.0112$  (V.s/m²);  $B_{max} = 0.0112$  (V.s/m²);  $H_{min} = -46.125$  A/m;  $H_{max} = 46.125$  A/m. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{min}$ . Nilai  $B_{max} = B_{min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik A (-198; 162.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong A lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.

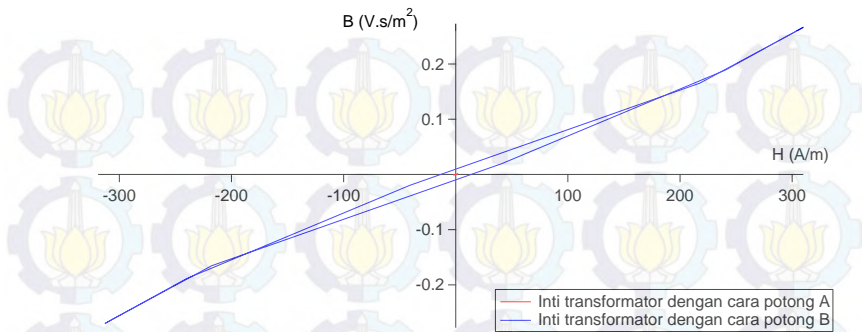
Kurva magnetisasi pada titik B (-253; 217.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.6. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{min} = -0.85$  (V.s/m²);  $B_{max} = 0.85$  (V.s/m²);  $H_{min} = -876$  A/m;  $H_{max} = 876$  A/m. Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{min} = -0.97$  (V.s/m²);  $B_{max} = 0.97$  (V.s/m²);  $H_{min} = -975.6$  A/m;  $H_{max} = 975.6$  A/m. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{min}$ . Nilai  $B_{max} = B_{min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih kecil dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai

**H.** Sehingga pada titik B (-253; 217.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong B lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.

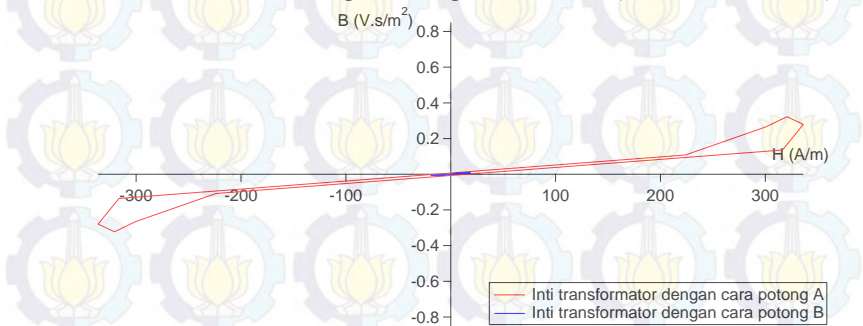
Kurva magnetisasi pada titik C (-308; 272.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.7. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $\mathbf{B}_{\min} = -0.0009 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $\mathbf{B}_{\max} = 0.0009 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $\mathbf{H}_{\min} = -2 \text{ A/m}$ ;  $\mathbf{H}_{\max} = 2 \text{ A/m}$ . Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $\mathbf{B}_{\min} = -0.27 \text{ (T/m}^2\text{)}$ ;  $\mathbf{B}_{\max} = 0.27 \text{ (T/m}^2\text{)}$ ;  $\mathbf{H}_{\min} = -312.77 \text{ A/m}$ ;  $\mathbf{H}_{\max} = 312.77 \text{ A/m}$ . Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $\mathbf{B}_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $\mathbf{B}_{\min}$ . Nilai  $\mathbf{B}_{\max} = \mathbf{B}_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $\mathbf{B}_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih kecil dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai **H.** Sehingga pada titik C (-308; 272.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong B lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.



**Gambar 4.6** Kurva Magnetisasi pada titik B (-253; 217.5; 37.5).



**Gambar 4.7** Kurva Magnetisasi pada titik C (-308; 272.5; 37.5).

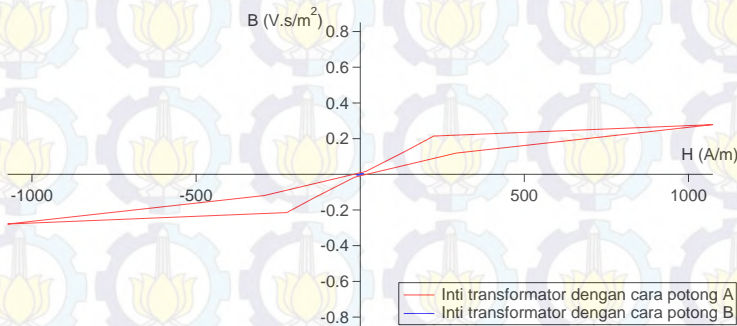


**Gambar 4.8** Kurva Magnetisasi pada titik D (0.0; 162.5; 37.5).

Kurva magnetisasi pada titik D (0.0; 162.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.8. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -0.322$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 0.322$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -336.28$  A/m;  $H_{\max} = 336.28$  A/m. Sedangkan pada inti transformator B didapatkan nilai  $B_{\min} = -0.00824$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 0.00824$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -18.95$  A/m;  $H_{\max} = 18.95$  A/m. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik

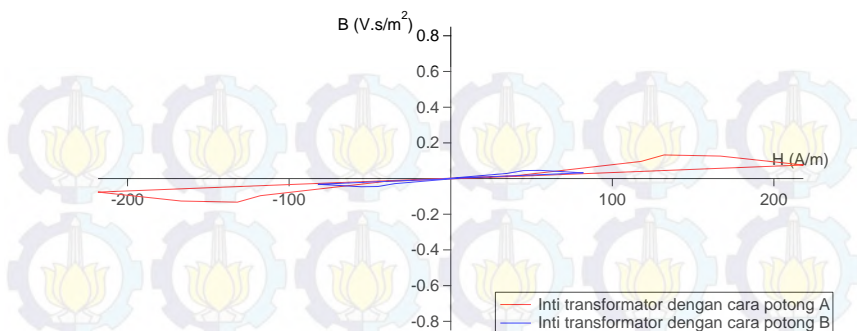
D (0.0; 162.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong A lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.

Kurva magnetisasi pada titik E (40; 162.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.9. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $\mathbf{B}_{\min} = -0.2875$  (T/m<sup>2</sup>);  $\mathbf{B}_{\max} = 0.2785$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $\mathbf{H}_{\min} = -1074$  A/m;  $\mathbf{H}_{\max} = 1074$  A/m. Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $\mathbf{B}_{\min} = -0.0044$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $\mathbf{B}_{\max} = 0.0044$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $\mathbf{H}_{\min} = -10.95$  A/m;  $\mathbf{H}_{\max} = 10.95$  A/m. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $\mathbf{B}_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $\mathbf{B}_{\min}$ . Nilai  $\mathbf{B}_{\max} = \mathbf{B}_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $\mathbf{B}_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan nilai  $\mathbf{B}_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $\mathbf{H}$ . Sehingga pada titik E (40; 162.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong A lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.

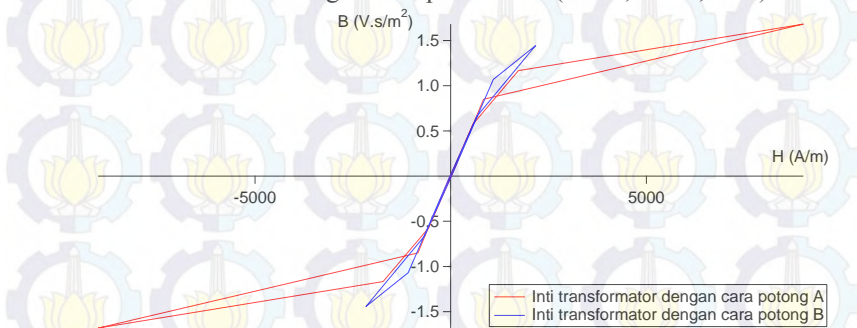


**Gambar 4.9** Kurva Magnetisasi pada titik E (40; 162.5; 37.5).





**Gambar 4.10** Kurva Magnetisasi pada titik F (4.233; 141.3; 37.5).



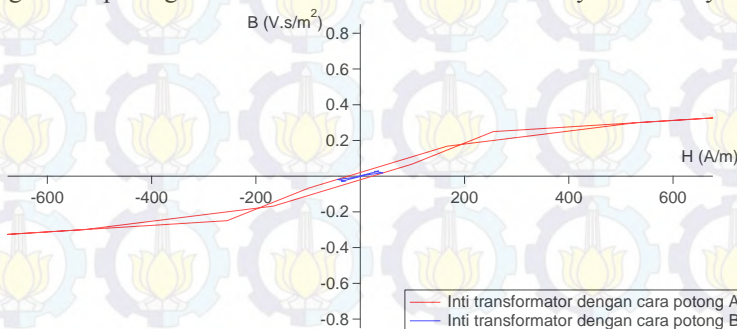
**Gambar 4.11** Kurva Magnetisasi pada titik G (55; -162.5; 37.5).

Kurva magnetisasi pada titik F (4.233; 141.3; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.10. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -0.13 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $B_{\max} = 0.13 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $H_{\min} = -218 \text{ A/m}$ ;  $H_{\max} = 218 \text{ A/m}$ . Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -0.046 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $B_{\max} = 0.046 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $H_{\min} = -82.04 \text{ A/m}$ ;  $H_{\max} = 82.04 \text{ A/m}$ . Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik F (4.233; 141.3; 37.5), inti transformator dengan cara potong A lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.



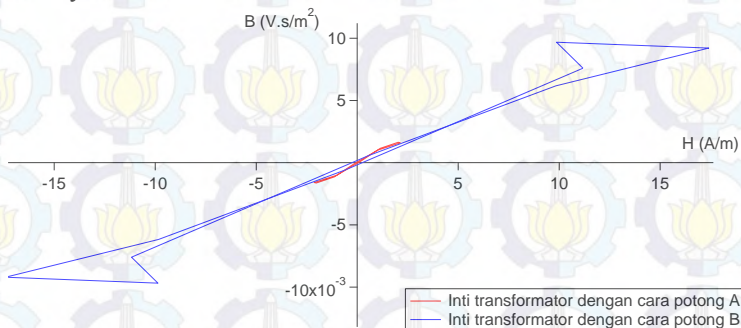
Kurva magnetisasi pada titik G (55; -162.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.11. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.68 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $B_{\max} = 1.68 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $H_{\min} = -9012.87 \text{ A/m}$ ;  $H_{\max} = 9012.87 \text{ A/m}$ . Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.4428 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $B_{\max} = 1.4428 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $H_{\min} = -2168.59 \text{ A/m}$ ;  $H_{\max} = 2168.59 \text{ A/m}$ . Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih kecil dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik G (55; -162.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong B lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.

Kurva magnetisasi pada titik H (-253; 162.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.12. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -0.326 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $B_{\max} = 0.326 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $H_{\min} = -676 \text{ A/m}$ ;  $H_{\max} = 676 \text{ A/m}$ . Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -0.0288 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $B_{\max} = 0.0288 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $H_{\min} = -43.66 \text{ A/m}$ ;  $H_{\max} = 43.66 \text{ A/m}$ . Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik H (-253; 162.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong A lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.

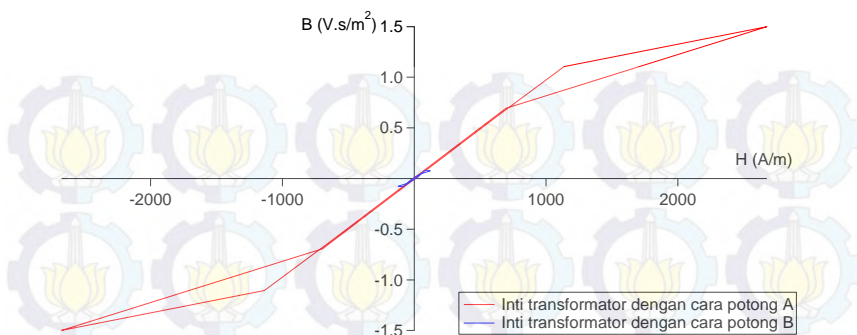


**Gambar 4.12** Kurva Magnetisasi pada titik H (-253; 162.5; 37.5).

Kurva magnetisasi pada titik I (-308; 162.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.13. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $\mathbf{B}_{\min} = -0.00164 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $\mathbf{B}_{\max} = 0.00164 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $\mathbf{H}_{\min} = -2.134 \text{ A/m}$ ;  $\mathbf{H}_{\max} = 2.134 \text{ A/m}$ . Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $\mathbf{B}_{\min} = -0.0097 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $\mathbf{B}_{\max} = 0.0097 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $\mathbf{H}_{\min} = -17.4 \text{ A/m}$ ;  $\mathbf{H}_{\max} = 17.4 \text{ A/m}$ . Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $\mathbf{B}_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $\mathbf{B}_{\min}$ . Nilai  $\mathbf{B}_{\max} = \mathbf{B}_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $\mathbf{B}_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih kecil dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $\mathbf{H}$ . Sehingga pada titik I (-308; 162.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong B lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.



**Gambar 4.13** Kurva Magnetisasi pada titik I (-308; 162.5; 37.5).

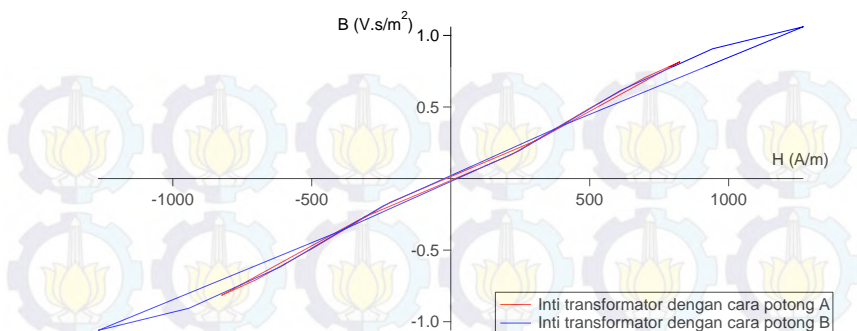


**Gambar 4.14** Kurva Magnetisasi pada titik J (198; 162.5; 37.5).

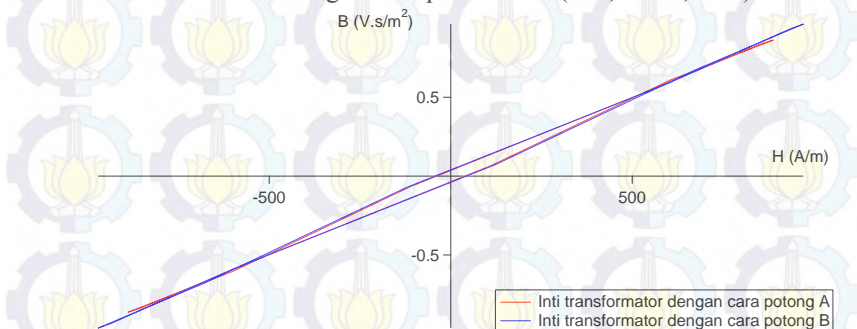
Kurva magnetisasi pada titik J (198; 162.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.14. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.498$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 1.498$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -2674.6$  A/m;  $H_{\max} = 2674.6$  A/m. Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -0.08$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 0.08$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -122.2$  A/m;  $H_{\max} = 122.2$  A/m. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik J (198; 162.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong A lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.

Kurva magnetisasi pada titik K (253; 217.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.15. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -0.816$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 0.816$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -824.6$  A/m;  $H_{\max} = 824.6$  A/m. Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.06$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 1.06$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -1268.5$  A/m;  $H_{\max} = 1268.5$  A/m. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih kecil dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik K (253; 217.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong B lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.



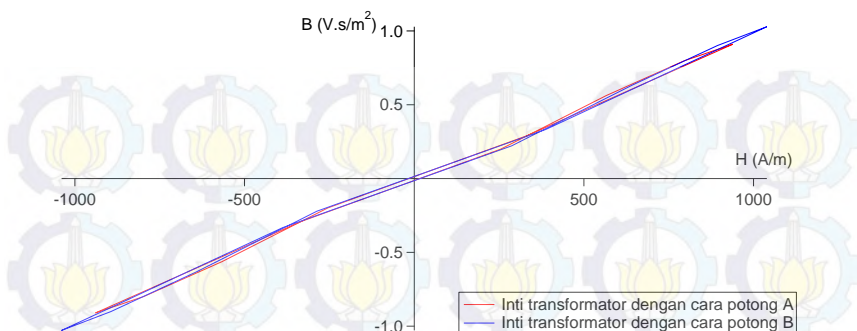


**Gambar 4.15** Kurva Magnetisasi pada titik K (253; 217.5; 37.5).



**Gambar 4.16** Kurva Magnetisasi pada titik L (-253; -217.5; 37.5).

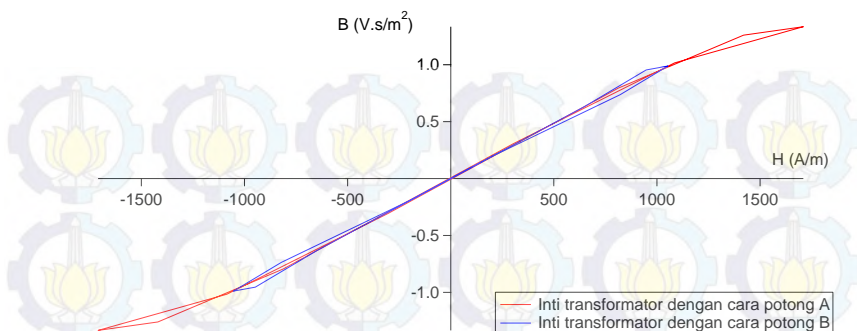
Kurva magnetisasi pada titik L (-253; -217.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.16. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -0.86$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 0.86$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -888.8$  A/m;  $H_{\max} = 888.8$  A/m. Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -0.96$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 0.96$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -971.36$  A/m;  $H_{\max} = 971.36$  A/m. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih kecil dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik L (-253; -217.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong B lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.



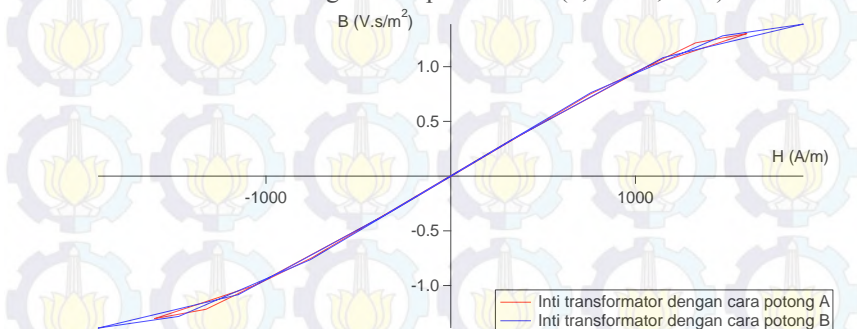
**Gambar 4.17** Kurva Magnetisasi pada titik M (253; -217.5; 37.5).

Kurva magnetisasi pada titik M (253; -217.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.17. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -0.9$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 0.9$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -938.6$  A/m;  $H_{\max} = 938.6$  A/m. Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.03$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 1.03$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -1039$  A/m;  $H_{\max} = 1039$  A/m. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih kecil dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik M (253; -217.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong B lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.

Kurva magnetisasi pada titik N (0; 217.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.18. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.33$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 1.33$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -1709.8$  A/m;  $H_{\max} = 1709.8$  A/m. Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -0.98$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 0.98$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -1053.5$  A/m;  $H_{\max} = 1053.5$  A/m. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik N (0; 217.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong A lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.



**Gambar 4.18** Kurva Magnetisasi pada titik N (0; 217.5; 37.5).

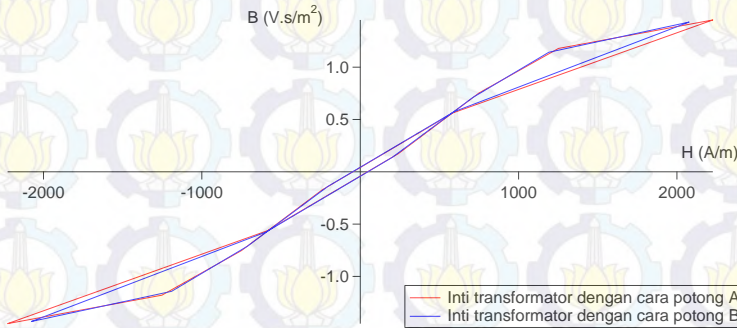


**Gambar 4.19** Kurva Magnetisasi pada titik O (0; -217.5; 37.5).

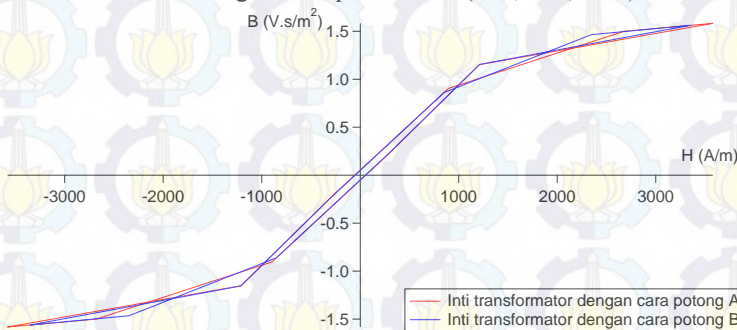
Kurva magnetisasi pada titik O (0; -217.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.19. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.3$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 1.3$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -1603.2$  A/m;  $H_{\max} = 1603.2$  A/m. Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.38$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 1.38$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -1908.7$  A/m;  $H_{\max} = 1908.7$  A/m. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih kecil dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik O (0; -217.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong B lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.



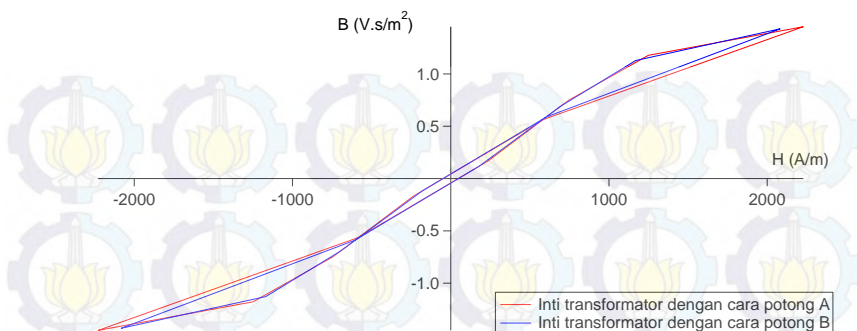
Kurva magnetisasi pada titik P (150; 200; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.20. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.45 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $B_{\max} = 1.45 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $H_{\min} = -2226.8 \text{ A/m}$ ;  $H_{\max} = 2226.8 \text{ A/m}$ . Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.43 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $B_{\max} = 1.43 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $H_{\min} = -2076.9 \text{ A/m}$ ;  $H_{\max} = 2076.9 \text{ A/m}$ . Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik P (150; 200; 37.5), inti transformator dengan cara potong A lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.



**Gambar 4.20** Kurva Magnetisasi pada titik P (150; 200; 37.5).



**Gambar 4.21** Kurva Magnetisasi pada titik Q (-150; 200; 37.5).



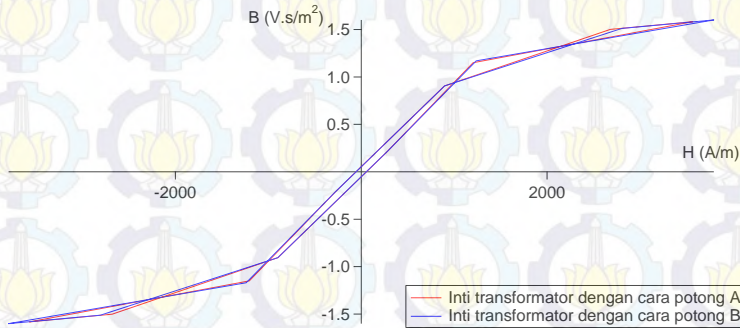
**Gambar 4.22** Kurva Magnetisasi pada titik R (150; -200; 37.5).

Kurva magnetisasi pada titik Q (-150; 200; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.21. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.58$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 1.58$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -3579$  A/m;  $H_{\max} = 3579$  A/m. Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.56$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 1.56$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -3349$  A/m;  $H_{\max} = 3349$  A/m. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik Q (-150; 200; 37.5), inti transformator dengan cara potong A lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.

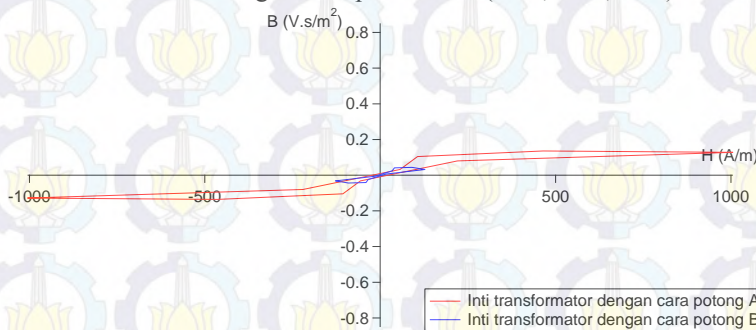
Kurva magnetisasi pada titik R (150; -200; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.22. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.45$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 1.45$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -2228$  A/m;  $H_{\max} = 2228$  A/m. Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.43$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $B_{\max} = 1.43$  (V.s/m<sup>2</sup>);  $H_{\min} = -2083$  A/m;  $H_{\max} = 2083$  A/m. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik R (150; -200; 37.5), inti transformator dengan cara potong A lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.



Kurva magnetisasi pada titik S (-150; -200; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.23. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.58 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $B_{\max} = 1.58 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $H_{\min} = -3569.8 \text{ A/m}$ ;  $H_{\max} = 3569.8 \text{ A/m}$ . Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $B_{\min} = -1.6 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $B_{\max} = 1.6 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $H_{\min} = -3794 \text{ A/m}$ ;  $H_{\max} = 3794 \text{ A/m}$ . Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $B_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $B_{\min}$ . Nilai  $B_{\max} = B_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $B_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih kecil dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $H$ . Sehingga pada titik S (-150; -200; 37.5), inti transformator dengan cara potong A lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.



**Gambar 4.23** Kurva Magnetisasi pada titik S (-150; -200; 37.5).

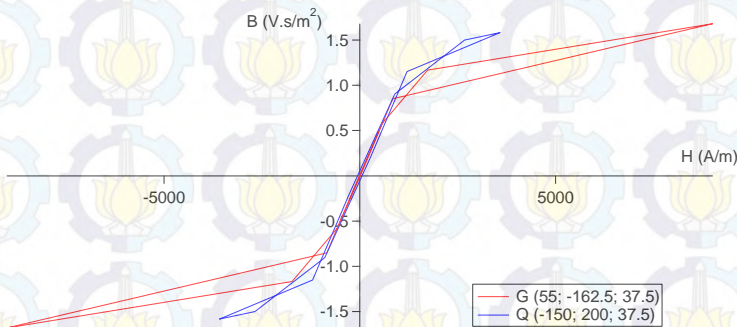


**Gambar 4.24** Kurva Magnetisasi pada titik T (-55; 162.5; 37.5).

Kurva magnetisasi pada titik T (-55; 162.5; 37.5) dapat dilihat pada gambar 4.24. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan nilai  $\mathbf{B}_{\min} = -0.136 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $\mathbf{B}_{\max} = 0.136 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $\mathbf{H}_{\min} = -1005 \text{ A/m}$ ;  $\mathbf{H}_{\max} = 1005 \text{ A/m}$ . Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan nilai  $\mathbf{B}_{\min} = -0.0435 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $\mathbf{B}_{\max} = 0.0435 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ ;  $\mathbf{H}_{\min} = -127.8 \text{ A/m}$ ;  $\mathbf{H}_{\max} = 127.8 \text{ A/m}$ . Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, setelah mencapai  $\mathbf{B}_{\max}$  turun hingga mencapai nilai  $\mathbf{B}_{\min}$ . Nilai  $\mathbf{B}_{\max} = \mathbf{B}_{\min}$ , tetapi berlawanan arah. Nilai  $\mathbf{B}_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Hal yang sama terjadi dengan nilai  $\mathbf{H}$ . Sehingga pada titik T (-55; 162.5; 37.5), inti transformator dengan cara potong A lebih baik dikarenakan fluks totalnya lebih banyak.

Jika dilihat berdasarkan data di atas, nilai  $\mathbf{B}$  dan  $\mathbf{H}$  terbesar pada inti transformator dengan cara potong A berada di titik G (55; -162.5; 0). Sedangkan nilai  $\mathbf{B}$  dan  $\mathbf{H}$  terkecil berada di titik C (-308; 272.5; 37.5).

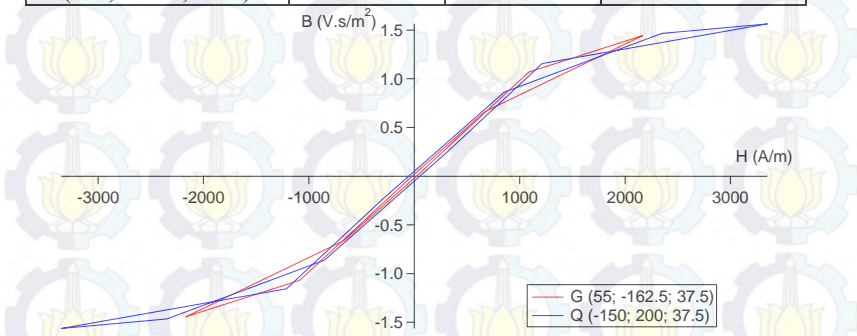
Sedangkan pada inti transformator dengan cara potong B, nilai  $\mathbf{B}$  dan  $\mathbf{H}$  terbesar pada berada di titik G (55; -162.5; 0). Sedangkan nilai  $\mathbf{B}$  dan  $\mathbf{H}$  terkecil berada di titik I (-308; 162.5; 37.5).



**Gambar 4.25** Perbandingan Kurva Magnetisasi antar titik pada inti transformator dengan cara potong A

**Tabel 4.1** Perbandingan nilai kerapatan fluks magnet.

Titik yang diamati	Nilai kerapatan fluks magnet ( $V.s/m^2$ )		
	Cara potong A	Cara potong B	Cara potong Ideal
A (-198; 162.5; 37.5)	0.029	0.01123	0.03
B (-253; 217.5; 37.5)	0.85	0.97	0.8
C (-308; 272.5; 37.5)	0.0009	0.27	0.00022
D (0.0; 162.5; 37.5)	0.322	0.00824	0.232
E (40; 162.5; 37.5)	0.2785	0.0044	0.5
F (4.233; 141.3; 37.5)	0.1326	0.0458	0.126
G (55; -162.5; 37.5)	1.68	1.4428	0.04
H (-253; 162.5; 37.5)	0.326	0.0288	0.333
I (-308; 162.5; 37.5)	0.00164	0.00968	0.0016
J (198; 162.5; 37.5)	1.498	0.08	0.042
K (253; 217.5; 37.5)	0.816	1.06	0.77
L (-253; -217.5; 37.5)	0.863	0.96	0.833
M (253; -217.5; 37.5)	0.9	1.028	0.8
N (0; 217.5; 37.5)	1.33	0.98	1.29
O (0; -217.5; 37.5)	1.3	1.388	1.28
P (150; 200; 37.5)	1.45	1.43	1.448
Q (-150; 200; 37.5)	1.58	1.56	1.58
R (150; -200; 37.5)	1.45	1.43	1.449
S (-150; -200; 37.5)	1.58	1.6	1.568
T (-55; 162.5; 37.5)	0.136	0.04356	0.48



**Gambar 4.26** Perbandingan Kurva Magnetisasi antar titik pada inti transformator dengan cara potong B



### 4.3 Pengaruh Cara Pemotongan Inti Transformator dengan Nilai Puncak Pada *Inrush Current*

Pada titik A (-198; 162.5; 37.5) dengan factor daya sebesar 1. Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $B_N$  sebesar 0.0101 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_S$  sebesar 0.029 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_R$  sebesar 0.035 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{\sqrt{2} V_m}{\sqrt{(\omega \cdot L)^2 + R^2}} \left( \frac{2 \cdot B_N + B_R - B_S}{B_N} \right)$$

$$i_{peak} = \frac{\sqrt{2}(\sqrt{2} \times 2624.32)}{39762.4} \left( \frac{2(0.0101) + (0.035) - (0.029)}{0.0101} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times 2.594$$

$$i_{peak} = 0.34 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 0.34 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $B_N$  sebesar 0.0116 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_S$  sebesar 0.0112 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_R$  sebesar 0.000148 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.0116) + (0.000148) - (0.0112)}{0.0116} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times 2.7$$

$$i_{peak} = 0.138 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 0.138 \text{ A}$ .

Pada titik B (-253; 217.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $B_N$  sebesar 0.00239 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_S$  sebesar 0.85 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_R$  sebesar 0.000375 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00239) + (0.000375) - (0.85)}{0.00239} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-353.49)$$

$$i_{peak} = -46.66 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 46.66 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B_N}$  sebesar  $0.00233 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B_S}$  sebesar  $0.97 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B_R}$  sebesar  $0.04 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00233) + (0.04) - (0.97)}{0.00233} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-397.142)$$

$$i_{peak} = -52.4 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 52.4 \text{ A}$ .

Pada titik C (-308; 272.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $\mathbf{B_N}$  sebesar  $0.00239 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B_S}$  sebesar  $0.0009 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B_R}$  sebesar  $1.225 \times 10^{-5} \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00239) + (0.0000122) - (0.0009)}{0.00239} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (1.628)$$

$$i_{peak} = 0.215 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 0.215 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B_N}$  sebesar  $0.00233 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B_S}$  sebesar  $0.27 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B_R}$  sebesar  $0.0097165 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):



$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00233) + (0.0097) - (0.27)}{0.00233} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-109.71)$$

$$i_{peak} = -14.48 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 14.48 \text{ A}$ .

Pada titik D (0.0; 162.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.0062 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 0.322 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.006638 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.0062) + (0.006638) - (0.322)}{0.0062} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-48.86)$$

$$i_{peak} = -6.45 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 6.45 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00605 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 0.00824 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.00845 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00605) + (0.00845) - (0.00824)}{0.00605} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (2.0347)$$

$$i_{peak} = 0.268 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 0.268 \text{ A}$ .

Pada titik E (40; 162.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00814 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 0.2785 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.00065 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00814) + (0.00065) - (0.2785)}{0.00814} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-32.13)$$

$$i_{peak} = -4.24 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 4.24 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00791 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 0.0044 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.00269 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00791) + (0.00269) - (0.0044)}{0.00791} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (1.78)$$

$$i_{peak} = 0.235 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 0.235 \text{ A}$ .

Pada titik F (4.233; 141.3; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00431 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 0.13 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.002 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00814) + (0.00065) - (0.69)}{0.00814} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-27.69)$$

$$i_{peak} = -3.65 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 3.65 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00419 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar

0.00211 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai **B<sub>R</sub>** sebesar 0.0458 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00419) + (0.00458) - (0.00211)}{0.00419} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-8.42)$$

$$i_{peak} = -1.11 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 1.11 \text{ A}$ .

Pada titik G (55; -162.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai **B<sub>N</sub>** sebesar 0.0101 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai **B<sub>S</sub>** sebesar 1.68 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai **B<sub>R</sub>** sebesar 0.00164 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.0101) + (0.00164) - (1.68)}{0.0101} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-164.174)$$

$$i_{peak} = -21.6 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 21.67 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai **B<sub>N</sub>** sebesar 0.00977 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai **B<sub>S</sub>** sebesar 1.4428 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai **B<sub>R</sub>** sebesar 0.00488 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00977) + (0.00488) - (1.4428)}{0.00977} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-145.177)$$

$$i_{peak} = -19.16 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 19.16 \text{ A}$ .

Pada titik H (-253; 162.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai **B<sub>N</sub>** sebesar 0.00622

(V.s/m<sup>2</sup>). Nilai **B<sub>S</sub>** sebesar 0.326 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai **B<sub>R</sub>** sebesar 0.002 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00622) + (0.002) - (0.326)}{0.00622} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-50.09)$$

$$i_{peak} = -6.6 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 6.6 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai **B<sub>N</sub>** sebesar 0.00605 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai **B<sub>S</sub>** sebesar 0.0288 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai **B<sub>R</sub>** sebesar 0.002134 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00605) + (0.002134) - (0.0288)}{0.00605} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-2.4)$$

$$i_{peak} = -0.3 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 0.3 \text{ A}$ .

Pada titik I (-308; 162.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai **B<sub>N</sub>** sebesar 0.00431 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai **B<sub>S</sub>** sebesar 0.00164 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai **B<sub>R</sub>** sebesar 0.00005 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00431) + (0.00005) - (0.00164)}{0.00431} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (1.63)$$

$$i_{peak} = 0.215 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 0.215 \text{ A}$ .



Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00419 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 0.00968 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.000175 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00419) + (0.000175) - (0.00968)}{0.00419} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-0.268)$$

$$i_{peak} = -0.035 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 0.035 \text{ A}$ .

Pada titik J (198; 162.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00814 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 1.498 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.0065 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00814) + (0.0065) - (1.498)}{0.00814} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-34.026)$$

$$i_{peak} = -4.49 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 4.49 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00791 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 0.08 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.00843 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00791) + (0.00843) - (0.08)}{0.00791} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times 0.35$$

$$i_{peak} = 0.046 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 0.046 \text{ A}$ .



Pada titik K (253; 217.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00239 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 0.816 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.0138 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00239) + (0.0138) - (0.816)}{0.00239} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-12.98)$$

$$i_{peak} = -1.7 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 1.7 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00233 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 1.06 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.02 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00233) + (0.02) - (1.06)}{0.00233} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-18.8)$$

$$i_{peak} = -2.48 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 2.48 \text{ A}$ .

Pada titik L (-253; -217.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00239 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 0.86 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.0357 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00239) + (0.0357) - (0.86)}{0.00239} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-17.79)$$

$$i_{peak} = -2.34 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 2.34 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar  $0.00233 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar  $0.96 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar  $0.04 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00233) + (0.04) - (0.96)}{0.00233} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-18.9)$$

$$i_{peak} = -2.49 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 2.49 \text{ A}$ .

Pada titik M (253; -217.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar  $0.00239 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar  $0.9 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar  $0.01362 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00239) + (0.01362) - (0.9)}{0.00239} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-368.87)$$

$$i_{peak} = -48.69 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 48.69 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar  $0.00233 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar  $1.03 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar  $0.01422 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00233) + (0.01422) - (1.03)}{0.00233} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-433.957)$$

$$i_{peak} = -57.28 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 57.28 \text{ A}$ .

Pada titik N (0; 217.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $B_N$  sebesar 0.00239 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_S$  sebesar 1.33 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_R$  sebesar 0.00732 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00239) + (0.00732) - (1.33)}{0.00239} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-551.423)$$

$$i_{peak} = -72.78 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 72.78 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $B_N$  sebesar 0.00233 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_S$  sebesar 0.98 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_R$  sebesar 0.0008 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00233) + (0.0008) - (0.98)}{0.00233} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-418.258)$$

$$i_{peak} = -55.21 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 55.21 \text{ A}$ .

Pada titik O (0; -217.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $B_N$  sebesar 0.00239 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_S$  sebesar 1.3 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_R$  sebesar 0.004 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00239) + (0.004) - (1.3)}{0.00239} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-540.26)$$

$$i_{peak} = -71.3 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 71.3 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar  $0.00233 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar  $1.38 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar  $0.00257 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00233) + (0.00257) - (1.38)}{0.00233} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-589.17)$$

$$i_{peak} = -77.77 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 77.77 \text{ A}$ .

Pada titik P (150; 200; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar  $0.00431 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar  $1.45 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar  $0.0414 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00431) + (0.0414) - (1.45)}{0.00431} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-324.8)$$

$$i_{peak} = -42.87 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 42.87 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar  $0.00419 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar  $1.43 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar  $0.0434 \text{ (V.s/m}^2\text{)}$ . Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00419) + (0.0434) - (1.43)}{0.00419} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-328.9)$$

$$i_{peak} = -43.4 \text{ A}$$



Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 43.4 \text{ A}$ .

Pada titik Q (-150; 200; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $B_N$  sebesar 0.00431 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_S$  sebesar 1.58 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_R$  sebesar 0.05355 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00431) + (0.05355) - (1.58)}{0.00431} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-352)$$

$$i_{peak} = -46.4 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 46.4 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $B_N$  sebesar 0.00419 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_S$  sebesar 1.56 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_R$  sebesar 0.05 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00419) + (0.05) - (1.56)}{0.00419} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-358.38)$$

$$i_{peak} = -47.3 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 47.3 \text{ A}$ .

Pada titik R (150; -200; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $B_N$  sebesar 0.00431 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_S$  sebesar 1.45 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_R$  sebesar 0.04165 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00431) + (0.04165) - (1.45)}{0.00431} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-324.76)$$



$$i_{peak} = -42.868 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 42.868 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00419 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 1.43 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.044 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00419) + (0.0044) - (1.43)}{0.00419} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-328.78)$$

$$i_{peak} = -43.4 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 43.4 \text{ A}$ .

Pada titik S (-150; -200; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00431 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 1.58 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.05368 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00431) + (0.05368) - (1.58)}{0.00431} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-352)$$

$$i_{peak} = -46.4 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 46.4 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $\mathbf{B}_N$  sebesar 0.00419 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_S$  sebesar 1.6 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $\mathbf{B}_R$  sebesar 0.05258 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00419) + (0.05258) - (1.6)}{0.00419} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-367.3)$$

$$i_{peak} = -48.48 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 48.48 \text{ A}$ .

Pada titik T (-55; 162.5; 37.5). Pada inti transformator dengan menggunakan cara potong A, didapatkan nilai  $B_N$  sebesar 0.00814 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_S$  sebesar 0.136 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_R$  sebesar 0.00932 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00814) + (0.00932) - (0.136)}{0.00814} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-13.56)$$

$$i_{peak} = -1.79 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 1.79 \text{ A}$ .

Sedangkan pada inti transformator dengan menggunakan cara potong B, didapatkan nilai  $B_N$  sebesar 0.00791 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_S$  sebesar 0.0435 (V.s/m<sup>2</sup>). Nilai  $B_R$  sebesar 0.003 (V.s/m<sup>2</sup>). Sehingga sesuai dengan persamaan (3.5):

$$i_{peak} = \frac{(\sqrt{2} \times 2624.32)\sqrt{2}}{39762.4} \left( \frac{2(0.00791) + (0.003) - (0.0435)}{0.00791} \right)$$

$$i_{peak} = 0.132 \times (-3.12)$$

$$i_{peak} = -0.4 \text{ A}$$

Maka didapatkan nilai  $|i_{peak}| = 0.4 \text{ A}$ .

Dari tabel 4.1, didapatkan bahwa nilai  $i_{peak}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan pada inti transformator dengan cara potong B. Hal tersebut terjadi di beberapa titik, yaitu A (-198; 162.5; 37.5), D (0.0; 162.5; 37.5), E (40; 162.5; 37.5), H (-253; 162.5; 37.5), I (-308; 162.5; 37.5), J (198; 162.5; 37.5), N (0; 217.5; 37.5), dan T (-55; 162.5; 37.5). Sedangkan pada titik-titik yang lain, nilai  $i_{peak}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih kecil dibandingkan pada inti transformator dengan cara potong B. Pada inti transformator dengan cara potong A didapatkan  $i_{peak}$  terbesar pada titik N

(0; 217.5; 37.5) sebesar 72.78 A. Pada inti transformator dengan cara potong B didapatkan  $i_{peak}$  pada titik O (0; -217.5; 37.5) sebesar 72.77 A. Sesuai dengan persamaan (2.4), maka arus eksitasi pada inti transformator adalah:

$$I_{\phi} = (I_1 - I_p)A = (I_1 - \frac{I_2}{a})A$$

$$I_{\phi} = (I_1 - \frac{I_2}{a}) A$$

$$I_{\phi} = (2.89 - \frac{144.34}{95.26})A$$

$$I_{\phi} = (2.89 - 1.515) A$$

$$I_{\phi} = 1.375 A$$

Jika dibandingkan dengan nilai puncak dari *inrush current*, maka nilai arus eksitasi jauh lebih rendah pada beberapa titik pengamatan.

**Tabel 4.2** Perbandingan nilai puncak pada *inrush current*.

Titik yang diamati	Nilai puncak pada <i>inrush current</i>		
	Cara potong A	Cara potong B	Cara potong Ideal
A (-198; 162.5; 37.5)	0.34 A	0.138 A	0.22 A
B (-253; 217.5; 37.5)	46.66 A	52.4 A	23.25 A
C (-308; 272.5; 37.5)	0.215 A	14.48 A	0.25 A
D (0.0; 162.5; 37.5)	6.45 A	0.268 A	4.54 A
E (40; 162.5; 37.5)	4.24 A	0.235 A	7.6 A
F (4.233; 141.3; 37.5)	3.65 A	1.11 A	1.359 A
G (55; -162.5; 37.5)	21.6 A	19.16 A	0.46 A
H (-253; 162.5; 37.5)	6.6 A	0.3 A	6.34 A
I (-308; 162.5; 37.5)	0.215 A	0.035 A	0.229 A
J (198; 162.5; 37.5)	4.49 A	0.046 A	0.04 A
K (253; 217.5; 37.5)	1.7 A	2.48 A	22.87 A
L (-253; -217.5; 37.5)	2.34 A	2.49 A	24.1 A
M (253; -217.5; 37.5)	48.69 A	57.28 A	23.71 A
N (0; 217.5; 37.5)	72.78 A	55.21 A	38.97 A
O (0; -217.5; 37.5)	71.3 A	77.77 A	38.71 A
P (150; 200; 37.5)	42.87 A	43.4 A	29.48 A
Q (-150; 200; 37.5)	46.4 A	47.3 A	32.03 A
R (150; -200; 37.5)	42.868 A	43.4 A	29.47 A
S (-150; -200; 37.5)	46.4 A	48.48 A	31.66 A
T (-55; 162.5; 37.5)	1.79 A	0.4 A	6.6 A



## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari studi tentang pengaruh cara pemotongan inti transformator terhadap kurva magnetisasi dan *inrush current* adalah sebagai berikut:

1. Pada transformator, fluks magnet dibangkitkan oleh *magnetomotive force*. *Magnetomotive force* bergerak pada inti transformator. Cara pemotongan inti transformator yang berbeda, menyebabkan perbedaan bentuk lintasan gerak dari *magnetomotive force*. Sehingga cara pemotongan inti transformator yang berbeda, akan menghasilkan bentuk kurva magnetisasi dan nilai *inrush current* yang tidak sama.
2. Pada inti transformator dengan cara potong A dan B, terjadi fenomena menarik pada kurva magnetisasi. Kurva magnetisasi di titik-titik yang diamati mempunyai nilai  $B_{\max}$  dan  $B_{\min}$  yang sama. Nilai  $B_{\max}$  dan  $H_{\max}$  pada inti transformator dengan cara potong A lebih besar dibandingkan inti transformator dengan cara potong B. Akan tetapi nilai puncak dari *inrush current* pada inti transformator dengan cara potong A lebih kecil jika dibandingkan dengan inti transformator dengan cara potong B.
3. Pada inti transformator dengan cara potong A, besarnya nilai puncak dari *inrush current* yang terbesar adalah 72.78 A. Pada inti transformator dengan cara potong B, besarnya nilai puncak dari *inrush current* yang terbesar adalah 77.77 A. Nilai-nilai tersebut sangat tinggi jika dibandingkan dengan nilai arus eksitasi sebesar 1.375 A.

#### 5.2 Penelitian Selanjutnya

Untuk validasi, perlu dilakukan pengujian tentang pengaruh cara pemotongan inti transformator terhadap kurva magnetisasi dan *inrush current*.



## Daftar Pustaka

- [1] C. E. Lin, C. L. Cheng, C. L. Huang, and J. C. Yeh, "Investigation of magnetizing inrush current in transformers. II. Harmonic analysis," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 8, no. 1, pp. 255-263, Jan. 1993.
- [2] C. E. Lin, C. L. Cheng, C. L. Huang, and J. C. Yeh, "Investigation of magnetizing inrush current in transformers. I. Numerical simulation," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 8, no. 1, pp. 246-254, Jan. 1993.
- [3] K. Yabe, "Power differential method for discrimination between fault and magnetizing inrush current in transformers," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 12, no. 3, pp. 1109-1118, Jul. 1997.
- [4] P. L. Mao and R. K. Aggarwal, "A novel approach to the classification of the transient phenomena in power transformers using combined wavelet transform and neural network," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 16, no. 4, pp. 654-660, Oct. 2001.
- [5] J. J. Rico, E. Acha, and M. Madrigal, "The study of inrush current phenomenon using operational matrices," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 16, no. 2, pp. 231-237, Apr. 2001.
- [6] A. A. Adly, "Computation of inrush current forces on transformer windings," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 37, no. 4, pp. 2855-2857, Jul. 2001.
- [7] PAUL C . Y. LING and AMITAVA BASAK, "Investigation of Magnetizing Inrush Current in a Single-phase Transformer," *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*. VOL 24. NO 6, NOVEMBER 1988.
- [8] Shin-Der Chen, Ray-Lee Lin, and Chih-Kun Cheng, "Magnetizing Inrush Model of Transformers Based on Structure Parameters," *IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY*, VOL. 20, NO. 3, JULY 2005.
- [9] Paul S. Moses, Mohammad A. S. Masoum, and Moayed Moghbel, "Effects of Iron-Core Topology on Inrush Currents in Three-Phase Multi-Leg Power Transformers," *IEEE* 978-1-4673-2729-9/12/\$31.00 ©2012.
- [10] Bhag S. Guru, and Hiiseyin R. Hiziroglu, "*Electric Machinery and Transformers*", Oxford University Press, New York, Third Edition, 2001.
- [11] William H. Hayt, Jr., and John A. Buck, "*Engineering Electromagnetics*", The **McGraw-Hill** Companies, Sixth Edition, 2001.
- [12] M. Jamali, M. Mirzaie, and S. Asghar Gholamian, "Calculation and Analysis of Transformer Inrush Current Based on Parameters of Transformer and Operating Conditions," ISSN 1392-1215 ©2011.

[13] Stanley Humphries, Jr., "Finite-element Methods for Electromagnetics," New Mexico, January 2010.

[14] M. Khelil, and M. Elleuch, "Modelling of the Air-Gaps of Overlapped Joints in Tree-Phase Transformer Iron core for using by FEM," 6<sup>th</sup> International Multi-Conference on Systems, Signal and Devices ©2009.



## RIWAYAT HIDUP



**Arief Budi Ksatria**, dilahirkan di Kota Jambi, 05 Agustus 1992. Riwayat pendidikannya, Sekolah Dasar (lulus 2004) di Sekolah Dasar Negeri 1 Balong, Ponorogo, lulus Sekolah Menengah Pertama tahun 2007 di Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Ponorogo. Tahun 2010 ia lulus dari SMA Negeri 1 Ponorogo. Kemudian ia diterima di Jurusan Teknik Elektro di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2010. Selama kuliah, penulis pernah menjadi staff departemen Lingkar Kampus periode tahun 2011-2012. Pernah menjadi ketua II pada program kerja Electrical Sport Turnament pada periode 2011-2012. Penulis juga menjadi Kabirol Minat dan Bakat Departemen Lingkar Kampus periode tahun 2012-2013. Selain kegiatan organisasi, penulis juga aktif menjadi asisten Laboratorium Tegangan Tinggi, Jurusan Teknik Elektro ITS mulai tahun 2013-2014.. Penulis dapat dihubungi melalui email [ksatria.arief@gmail.com](mailto:ksatria.arief@gmail.com).

*Halaman ini sengaja dikosongkan*